

Zenon Szczepaniak

PROJEKTOWANIE KOMOROWYCH OBUDÓW KAMIENNYCH  
O KSZTAŁCIE OWALNYM

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono sposób obliczania obudowy murowej o kształcie zbliżonym do łuku eliptycznego. Nowym rozwiązaniem przy obliczeniach jest prosty sposób znajdowania położenia linii ciśnień w projektowanej obudowie murowej oraz prosta metoda obliczania jej grubości.

1. Projektowanie wstępne

Wiele wyrobisk komorowych oraz wloty szybowe wykonuje się w obudowie murowej z cegły, betonitów lub z betonu.

W tych przypadkach, w których występuje w projektowanym wyrobisku duże ciśnienie w kierunku pionowym i poziomym, wskazane jest stosować obudowy murowe o kształcie zbliżonym do łuku eliptycznego. W pracy podaje się prosty sposób projektowania murowej obudowy owalnej wg niżej przedstawionego sposobu postępowania.

- Ustala się owalny kształt obudowy murowej projektowanego wyrobiska o wymiarach dostosowanych do jego potrzeb eksploatacyjnych.

W tym celu metodą minimalnych obrysów projektuje się wielkość przekroju poprzecznego wyrobiska 1 (najmniejszą konieczną wysokość i szerokość wyrobiska w świetle obudowy - rys. 1). Dobiera się półosie elipsy  $a_0$  i  $b_0$  o takiej długości, aby zaprojektowany przekrój 1 całkowicie mieścił się w elipsie 2 wykreślonej metodą dwóch promieni:  $R_1$  i  $R_2$  (rys. 1)

- Przyjmuje się wstępną grubość obudowy  $d_0$  równą np. 64 cm (granice doboru od 38 cm wzwyż).

- Ustala się wielkość ciągłego obciążenia obudowy w kierunku pionowym ( $q_1$ ) i poziomym ( $q_2$ ) - (rys. 1).

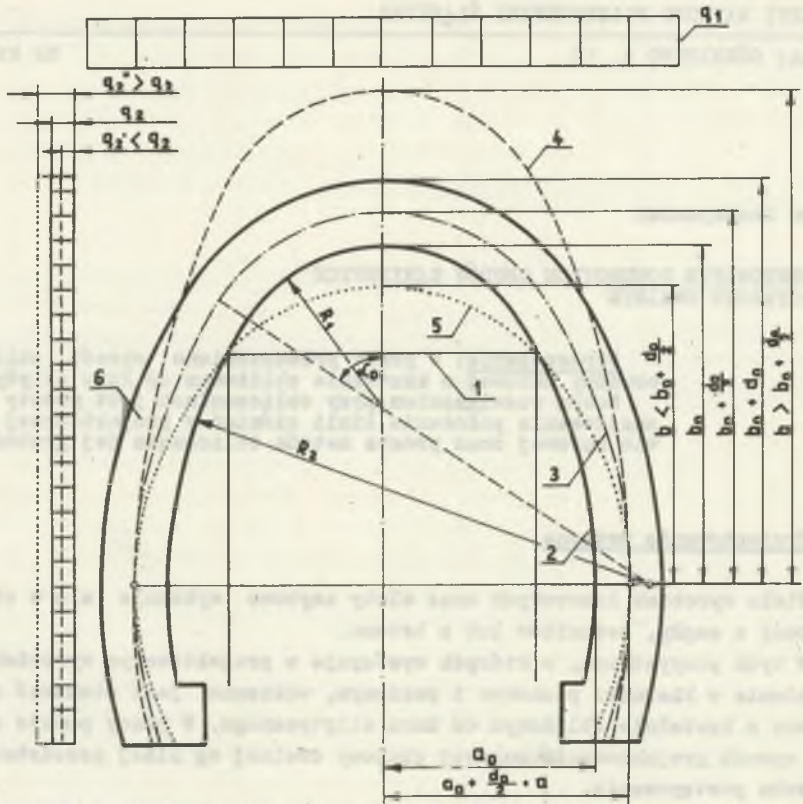
Są różne sposoby ustalania oddziaływania górotworu na obudowę górniczą. Przybliżowo przy przyjęciu sklepienia ciśnień wg prof. Sażustowicza wartości  $q_1$  i  $q_2$  można obliczyć za pomocą wzorów (1), (3) lub (4).

$$q_1 = \gamma_{sr}(s + c + d_0), \quad (1)$$

gdzie:

$\gamma_{sr}$  - średni ciężar objętościowy skał, podsadzki i obudowy,

$s$  - maksymalny zasięg skał odprężonych nad obudową,



Rys. 1. Obudowa murowa o kształcie owalnym dostosowana wielkością do wymiarów wyrobiska wymaganych ze względu na jego przeznaczenie

1 - przekrój o kształcie 1 i wielkości ustalonej metodą minimalnych obrysów  
 2 - obrys wewnętrznej strony obudowy owalnej 6 obejmującej całkowicie przekrój 1, 3 - oś obudowy owalnej 6 przechodząca przez środek jej grubości,  
 4 - oś obudowy owalnej spełniająca dla  $q_1$  i  $q_2'$  (wzór 5), 5 - oś obudowy owalnej spełniająca dla  $q_1$  i  $q_2$  (wzór 5)

$c$  - grubość podsadzki nad kluczem sklepienia,

$d_0$  - przyjęta wstępnie grubość obudowy.

Wielkość  $s$  występującą we wzorze (1) można obliczyć z zależności (2) i (2')

$$s = b - (b_0 + d_0 + c) \quad (2)$$

$$b = (a_0 + 0,5 d_0 + c_1)k \quad (2')$$

$$k = \frac{m-2}{2}, \quad (2'')$$

gdzie:

- $q_1$  - grubość podsadzki przy murach bocznych w miejscu największej rozpiętości obudowy,  
 $m$  - odwrotność liczby Poissona dla skał karbońskich, którą dla obliczeń można przyjąć  $m = 6 \div 8$ ,

$$q_2 = \frac{1}{2} \gamma_{sr} [2(s + c) + h_4] \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}), \quad (3)$$

gdzie:

- $h_4$  - całkowita wysokość zewnętrznej strony obudowy,  
 $\varphi$  - wielkość kąta tarcia wewnętrznych odprężonych skał ociosowych.

Wg prof. Sałustowicza wielkość  $q_2$  można przyjąć z zależności (4)

$$q_2 = (0,25 \div 0,5)q_1 \quad (4)$$

## 2. Sposób ustalania wytrzymałości obudowy przyjętej w projekcie wstępnym

Sprawdza się w jakim stopniu zaprojektowany owalny kształt obudowy 6 (rys. 1 i 3) odbiega od kształtu dostosowanego wg wzoru Sałustowicza (5) do sposobu i wielkości obciążenia obudowy, przy którym to kształcie wg [1] na całym obwodzie obudowy wzdłuż jej grubości występują naprężenia ściskające. W tym celu półoś osi obudowy 3 (rys. 1) równą  $a_0 + 0,5 d_0$  przyjmujemy jako równą półoś  $a$  w elipsie Sałustowicza 4 lub 5 (rys. 1) i z wzoru (5) wyznacza się drugą półoś elipsy  $b$ .

$$b = a \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}, \quad (5)$$

gdzie:

- $q_1, q_2$  - wielkości obciążeń obudowy w kierunku pionowym i poziomym - rozkładające się w sposób równomierny.

W zależności od wielkości ilorazu otrzymanego z wielkości obciążeń  $q_1$  i  $q_2$  ( $q_1/q_2; q_1/q_2^2; q_1/q_2^3$ ) - w stosunku do osi 3 wstępnie zaprojektowanej obudowy 6 (rys. 1 i 3) mogą zachodzić trzy przypadki wielkości półosi elipsy Sałustowicza  $b$  - spełniającej wzór (5)

$$a) \quad b = b_0 + \frac{d_0}{2} \quad (6)$$



Przypadek ten dotyczy obciążeń  $q_1$  i  $q_2$  (rys. 1), dla których elipsa Sałustowicza ma kształt osi 3 obudowy murowej 6

$$b) \quad b > b_0 + \frac{d_0}{2} \quad (7)$$

Przypadek ten dotyczy obciążeń  $q_1$  i  $q_2 < q_2$  (rys. 1 i 3), dla których elipsa Sałustowicza ma kształt 4

$$c) \quad b < b_0 + \frac{d_0}{2} \quad (8)$$

Przypadek ten dotyczy obciążeń  $q_1$  i  $q_2'' > q_2$  (rys. 1 i 3), dla których elipsa Sałustowicza ma kształt 5.

Przypadek jak w zależności (6) jest najkorzystniejszy, gdyż oznacza w przybliżeniu równomierny rozkład naprężeń ściskających w każdym przekroju obudowy na całym jej obwodzie.

Przy stwierdzeniu, że zachodzi zależność (6) można do wykonawstwa przyjąć obudowę o takiej grubości, przy której byłby spełniony warunek wyrażony wzorem (9)

$$\sigma_c = \frac{\mu Q_0}{d_0} = \frac{\mu(a + 0,5 d_0)q_1}{d_0} \leq k_c \quad (9)$$

gdzie:

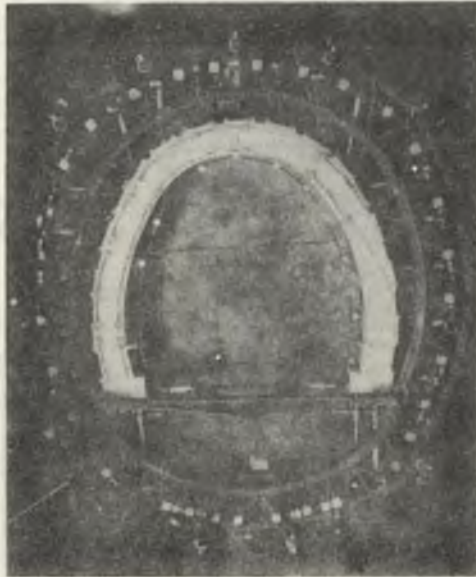
$\mu$  - współczynnik uwzględniający pewną rozbieżność między elipsą idealną a wykonanym kształtem obudowy oraz możliwość wystąpienia mniej korzystnego rozkładu obciążenia obudowy od przyjętego do obliczeń.  
 $1 \leq \mu \leq 2$ .

Jeżeli  $\sigma_c > k_c$ , wówczas do wykonawstwa należy przyjąć obudowę o większej grubości lub zastosować materiał o większej wytrzymałości na ściskanie tak, aby zachodził warunek  $\sigma_c \leq k_c$ .

W przypadku stwierdzenia, że zachodzi zależność (7) istnieje możliwość przyjęcia przy sprawdzaniu wytrzymałości obudowy następującego sposobu postępowania.

Przyjmuje się na podstawie badań przeprowadzonych w Instytucie Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni (rys. 2 i 4), tzw. zasadę jednakowej wielkości mimośrodków w murowym łuku sklepieniowym i w murach bocznych.

W oparciu o tę zasadę nakłada się (wykreślony na kalce technicznej) łuk eliptyczny 4 o półosiach  $a$  i  $b$  ustalonych ze wzoru (5) na poprzeczny przekrój obudowy (wykreślonej w odpowiedniej skali) o grubości  $d_0$  tak, aby odległość elipsy 4 od zewnętrznej strony obudowy w kluczu sklepienia ( $d_0$ ) była równocześnie równa najmniejszej odległości ( $d_0$ ) od wewnętrznej stro-



Rys. 2. Badania owalnych obudów murowych na podstawie których ustalono metodę wyznaczania w nich maksymalnych wielkości mimośrodków

ny obudowy w murach bocznych (rys. 3). Oznacza to również, że w miejscach równych wartości  $d_0$  jednakowe są wartości mimośrodków  $e'$ , tj. odległości elipsy 4 od osi obudowy 3 (rys. 3).

Wartości  $e'$  są największymi wielkościami mimośrodków działania wypadkowej siły wewnętrznej w obudowie przy danym jej kształcie i danym sposobie obciążenia jak na (rys. 3).

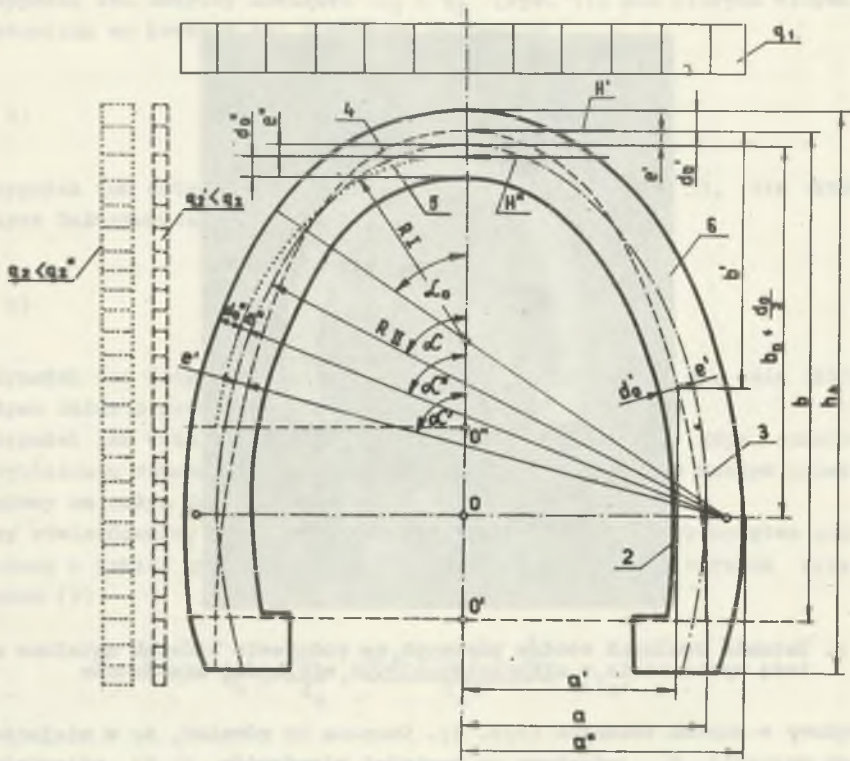
Wielkości mimośrodu  $e$  należy odczytać z wykreślonego w skali (rys. 3) Jeżeli  $e' > \frac{d_0}{6}$ , wówczas w murze obudowy mogą powstać szczeliny jak na (rys. 2 i 4). Przyjęta wstępnie grubość obudowy  $d_0$  może pozostać nawet w przypadku powstania szczelin, jeżeli zostanie spełniony warunek wyrażony zależnościami (10) lub (11).

$$\sigma_c = \frac{2 Q_0}{3(0,5 d_0 - e')} = \frac{q_1(2a + d_0)}{3(0,5 d_0 - e')} k_c \quad (10)$$

gdzie:

$Q_0$  - największe obciążenie obudowy w kierunku pionowym.

Bardziej dokładny od zależności (10), lecz więcej pracochłonny w obliczeniach, jest wzór (11), w którym występuje wypadkowa siła wewnętrzna  $N(e)$



Rys. 3. Graficzny sposób wyznaczania wielkości mimośrodków w obudowie murowej przez nakładanie osi 4 lub 5 (rys. 1) na oś 3 - przy przestrzeganiu zasady jednakowej wielkości mimośrodków - (w praktyce oś 4 lub 5 można wykreślić na kalce technicznej)



Rys. 4. Złuszczenie obudowy murowej od strony występowania maksymalnego mimośrodu - pod wpływem dużych naprężeń ściskających ( $\sigma_c > R_c > k_c$ ) i rozwarcie muru po stronie przeciwnej



określona w przekroju występowania  $e'$  (w miejscu ustalonym przez  $\alpha'$ ) i prostopadła do tego przekroju.

$$\sigma_c = \frac{2 N(e')}{3(0,5 d_0 - e')} < k_c \quad (11)$$

Wielkość  $N(e')$  można obliczyć ze wzoru (13) po uprzednim obliczeniu wartości rozporu  $H'$  (rys. 3) w kluczu sklepienia z zależności (12)

$$H' = \frac{q_1[a^2 - (a'' - a')^2] + q_2(b' + d'_0)^2}{2 \cdot b'} \quad (12)$$

$$N(e') = H' \cos \alpha' + q_1(K + R_{II} \sin \alpha) \sin \alpha' - q_2(P - R_{II} \cos \alpha) \cos \alpha' \quad (13)$$

gdzie:

$$K = R_I - R_{II} \sin \alpha_0$$

$$P = R_I(1 - \cos \alpha_0) + R_{II} \cos \alpha_0$$

wartość  $\alpha'$  oraz wielkość  $a'$ ,  $a''$ ,  $b'$  można odczytać bezpośrednio z rys. 3 wykonanego w odpowiedniej skali.

Jeżeli wielkość  $e'$  spełnia warunek  $0 \leq e' \leq \frac{d_0}{6}$  należy zastosować wzór (14) lub (15) wg [2]

$$\sigma_c = \frac{Q_0}{d_0} \left(1 + \frac{6e'}{d_0}\right) \leq k_c \quad (14)$$

$$\sigma_c = \frac{N(e')}{d_0} \left(1 + \frac{6e'}{d_0}\right) \leq k_c \quad (15)$$

Stwierdzenie za pomocą wzoru (10) lub (11) względnie (14) lub (15) przypadku  $\sigma_c > k_c$  oznacza, że należy zwiększyć grubość obudowy, wykonać obudowę z materiału o większej wytrzymałości na ściskanie lub zmienić jej kształt na bardziej zbliżony do wymogów określonych wzorem 5. Po dokonanej zmianie w obudowie jednego lub dwóch względnie wszystkich trzech wymienionych parametrów - należy powtórnie sprawdzić jej wytrzymałość za pomocą wzorów (10) lub (11), względnie (14) lub (15). Jeżeli wstępnie przyjęty kształt obudowy w stosunku do teoretycznego wg wzoru prof. Sałustowicza spełnia zależność (8), tj.  $b < b_0 + 0,5 d_0$  - wówczas można ustalić największe wielkości mimośrodów w kluczu i w murach bocznych w sposób poprzednio opisany - z tą różnicą, że elipsę 5 (rys. 1) ustaloną zgodnie ze wzorem (5) przy  $q_1$  i  $q_2''$  - nakłada się na poprzeczny przekrój obudowy (rys. 3) tak, aby jednakowe najmniejsze długości odcinków  $d_0''$  (wyznaczo-

ne w obudowie 5 przez elipsę 5) znajdowały się w murach bocznych przy zewnętrznej stronie obudowy a w kluczu przy wewnętrznej jej stronie. W ten sposób ustala się w obudowie graficznie największe równe wielkości mimośrodków  $e''$  oraz ich położenie określone wielkością kąta  $\alpha''$ .

Dalsze postępowanie jest podobne do przedstawionego przy omawianiu zależności (2), tzn. odczytuje się z wykreślonego w skali rys. 3 wielkość mimośrodku  $e''$  i sprawdza się za pomocą wzoru (10) lub (11) względnie (14) lub (15) czy wstępnie przyjęty kształt i grubość obudowy - spełniają stawiane jej wymogi wytrzymałościowe.

$$\sigma_c = \frac{q_1(2a + d_0)}{3(0,5 d_0 - e'')} \leq k_c \quad \text{dla } e'' > \frac{d_0}{6} \quad (10)$$

$$\sigma_c = \frac{2 N(e'')}{3(0,5 d_0 - e'')} \leq k_c \quad \text{dla } e'' > \frac{d_0}{6} \quad (11)$$

$$\sigma_c = \frac{Q_0}{d_0} \left(1 + \frac{6e''}{d_0}\right) \leq k_c \quad \text{dla } 0 < e'' \leq \frac{d_0}{6} \quad (14)$$

$$\sigma_c = \frac{N(e'')}{d_0} \left(1 + \frac{6e''}{d_0}\right) \leq k_c \quad \text{dla } 0 \leq e'' \leq \frac{d_0}{6} \quad (15)$$

Wielkość  $N(e'')$  we wzorze (11) i (15) należy ustalić jak  $N(e)$  wg zależności (13) - przy uwzględnieniu wartości kąta  $\alpha''$ .

W przypadku stwierdzenia, że  $\sigma_c > k_c$  należy zmienić grubość, kształt lub materiał obudowy i powtórzyć obliczenia wg wzorów 10' względnie (11).

### Zakończenie

Wielkości przekrojów poprzecznych wyrobisk komorowych lub wlotów do podszybi projektuje się i wykonuje najczęściej ze względu na przeznaczenie wyrobiska.

W przypadku obudowy murowej w wyrobiskach komorowych, w których przewodzi się duże ciśnienie od strony górotworu w kierunku pionowym i poziomym, należy dla wymaganej wielkości komory tak dobrać jej kształt i grubość obudowy, aby nie wystąpiły w niej większe naprężenia ściskające od dopuszczalnych dla danego rodzaju muru.

Podane w pracy sposoby wyznaczania maksymalnych wielkości mimośrodków w owalnej obudowie murowej oraz wzory (10) i (11) umożliwiają sprawdzenie, czy wstępnie przyjęta obudowa murowa o danym kształcie i grubości spełnia stawiane jej wymagania wytrzymałościowe.



Metodą kolejnych przybliżeń można dobrać taki kształt i grubość obudowy, przy których jest zapewniona, dla danego obciążenia, wymagana jej wytrzymałość. Przedstawiony sposób projektowania owalnych obudów murowych opracowano na podstawie badań przeprowadzonych w Instytucie Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni, których fragment przedstawiają rys. 2 i 4.

#### LITERATURA

1. Sałustowicz A. - Mechanika górotworu, Kraków 1953 r.
2. Szuścik W., Kuczyński J. - Wytrzymałość materiałów. Skrypt Uczelniany Pol. Śl. Gliwice, 1970 r.
3. Szczepaniak Z. - Praca doktorska 1966 r.

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕРНЫХ КАМЕННЫХ КРЕПЕЙ ОВАЛЬНОЙ ФОРМЫ

#### Р е з ю м е

В работе представлен способ расчета каменной крепи похожей по форме на эллиптическую арку. Новым решением при расчете является простой способ с помощью которого находим положение линии давления в проектированной крепи. Новым является также простой метод расчета ее толщины.

#### THE DESIGNING OF OVAL CHAMBER-SHAPED STONE SUPPORTS

#### S u m m a r y

The paper discusses a method of determining a brick-work support whose shape is similar to an elliptical arch.

A new solution of such calculations is the simple way finding the pressure lines in the projected brick-work support as well as the simple method of determining its thickness.